

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Návrh technologie svařování ozubeného kola
Technology Suggestion for Welding of the Gearwheel

Autor:
Vedoucí bakalářské práce:

Jakub Bieronský
Ing. Martin Sondel, Ph.D.

Ostrava 2015

Zadání bakalářské práce

Student:

Jakub Bieronský

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Téma:

Návrh technologie svařování ozubeného kola
Technology Suggestion for Welding of the Gearwheel

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte studii svařování vybraných konstrukčních ocelí
2. Navrhněte způsob svařování vybraného heterogenního svarového spoje
3. Navrhněte ověření vlastností vybraného svarového spoje
4. Ověřte vlastnosti vybraného zkušebního svarového spoje

Seznam doporučené odborné literatury:

KOUKAL, Jaroslav; SCHWARZ, Drahomír; HAJDÍK Jiří. *Materiály a jejich svařitelnost*. Vyd. 1. Ostrava: Český svářečský ústav s.r.o., VŠB-Technická Univerzita, 2009. 241 s. ISBN 978-80-248-2025-5.
KOUKAL, Jaroslav; ZMYDLENÝ, Tomáš. *Svařování I*. Vyd. 1. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2005. 136 s. ISBN 80-248-0870-6.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Martin Sondel, Ph.D.**


Datum zadání: 12.12.2014

Datum odevzdání: 18.05.2015



doc. Ing. Petr Mohyla, Ph.D.
vedoucí katedry





doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 18.5.2015

.....
podpis studenta

Prohlášení o využití výsledků bakalářské práce

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 18.5.2015


.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Jakub Bieronský

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Pstružovská 330, Frýdlant nad Ostravicí, 739 11

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

BIERONSKÝ, J. *Návrh technologie svařování ozubeného kola: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2015, 46 s. Vedoucí práce: Ing. Martin Sondel, Ph.D.

Tato bakalářská práce pojednává o návrhu technologie svařování ozubeného kola s ohledem na svařitelnost materiálů. V práci je uveden stručný úvod do problematiky svařování metody 135 (MAG-Metal Active Gas) – obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu. Dále pak stručná charakteristika svařitelnosti uhlíkových ocelí a martenzitických korozivzdorných ocelí, různorodých spojů a použití předehřevu. V praktické části je uveden kompletní postup svařování ozubeného kola, včetně všech potřebných parametrů, například teplota předehřevu případně dohřevu, stanovení svařovacích parametrů, návrh přídatných materiálů a návrh experimentálních zkoušek. V závěru bakalářské práce je provedeno vyhodnocení zkoušek a zhodnocení navrhované technologie pro svařování ozubeného kola.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

BIERONSKÝ, J. *Technology Suggestion for Welding of the Gearwheel: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB-Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2015, 46 p. Thesis head: Ing. Martin Sondel, Ph.D.

This bachelor thesis deals with the technology suggestion for welding of the gearwheel with regard to weldability of materials. The work presents brief introduction to welding methods 135 (MAG-Metal Active Gas) – gas-shielded metal-arc welding. Next a brief description weldability carbon steels and martensitic stainless steels, diverse connections and the use of preheating. The practical part includes the entire welding process of the gear, including all necessary parameters, such as preheating temperature possibly reheating, setting welding parameters, proposal additional materials and experimental tests design. In the conclusion of bachelor thesis is an evaluation of tests and evaluation of the proposed technology for welding of the gearwheel.

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK A SYMBOLŮ	8
1 ÚVOD.....	9
1.1 ÚVOD SVAŘOVÁNÍ METODY 135	9
2 SVAŘITELNOST	9
2.1 SVAŘITELNOST UHLÍKOVÝCH OCELÍ	10
2.2 SVAŘITELNOST KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ	12
3 METODA 135	14
3.1 CHARAKTERISTIKA SVAŘOVÁNÍ 135	14
3.2 PRINCIP METODY 135	15
3.3 PŘÍDAVNÉ MATERIÁLY	16
3.3.1 Svařovací drát - charakteristika.....	16
3.3.2 Aktivní ochranný plyn - charakteristika	16
3.4 PŘENOS MATERIÁLU ELEKTRICKÝM OBLOUKEM	17
4 SVAŘOVÁNÍ RŮZNORODÝCH MATERIÁLŮ	18
4.1 SCHAEFFLERŮV DIAGRAM.....	18
4.2 PŘÍDAVNÝ MATERIÁL PRO SVAŘOVÁNÍ RŮZNORODÝCH SPOJŮ	19
5 NÁVRH TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ OZUBENÉHO KOLA.....	20
5.1 NÁVRH ZÁKLADNÍHO MATERIÁLU PRO VÝROBU OZUBENÉHO KOLA	20
5.2 NÁVRH TECHNOLOGIE A METODY SVAŘOVÁNÍ OZUBENÉHO KOLA	21
5.3 NÁVRH PŘÍDAVNÉHO MATERIÁLU PRO SVAŘOVÁNÍ OZUBENÉHO KOLA	23
5.4 VÝPOČET NÁCHYLNOSTI OCELI NA VZNIK TEPLÝCH TRHLIN	24
5.5 VÝPOČET NÁCHYLNOSTI OCELI NA VZNIK STUDENÝCH TRHLIN	24
6 TECHNOLOGICKÝ POSTUP	24
6.1 POSTUP VÝROBY JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ.....	25
6.2 IDENTIFIKACE PARAMETRŮ A ZÁZNAM SVAŘOVÁNÍ	25
6.2.1 Identifikace a záznam parametrů svařování-varianta 1	25
6.4.2 Identifikace a záznam parametrů svařování-varianta 2	28
7 NÁVRH A OVĚŘENÍ VLASTNOSTÍ SVAROVÝCH SPOJŮ	30
7.1 NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY	30
7.1.1 Vyhodnocení nedestruktivních zkoušek- varianta 1	31
7.1.2 Vyhodnocení nedestruktivních zkoušek- varianta 2	31
7.2 DESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKY	31
7.2.1 Vyhodnocení destruktivních zkoušek- varianta 1	32
7.2.2 Vyhodnocení destruktivních zkoušek- varianta 2	34

8 ZÁVĚR	36
9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	38
10 SEZNAM PŘÍLOH.....	41
11 SEZNAM OBRÁZKŮ	42
12 SEZNAM TABULEK.....	43

Seznam použitých značek a symbolů

131	MIG-Metal Inert Gas. Obloukové svařování tavící se elektrodou v interním plynu.	
135	MAG-Metal Active Gas. Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu.	
A	Tažnost.	[%]
Ac ₁	Překrystalizační teplota.	[°C]
BW	Tupý svar.	
C _e	Uhlíkový ekvivalent.	
DC	Stejnoseměrný proud.	
FW	Koutový svar.	
hm. %	Hmotnostní procento.	
HV	Tvrdost podle Vickerse.	[J]
KV ₂	Nárazová práce. V vrub 2 mm.	[J]
KV ₃	Nárazová práce. V vrub 3 mm.	[J]
IIW	International Institute of Welding. Mezinárodní svářečský institut.	
Ms	Teplota počátku martenzitické přeměny.	
PA	Poloha vodorovná shora.	
PB	Poloha vodorovná šikmo shora.	
R _e	Mez kluzu.	[MPa]
R _m	Mez pevnosti.	[MPa]
R _{p0,2}	Smluvní mez kluzu.	[MPa]
SK	Svarový kov.	
TOO	Tepelně ovlivněné oblast.	
VHT 0/2	V vrub umístěný v tepelně ovlivněné oblasti kolmo k povrchu, 2 mm pod povrchem zkoušeného vzorku.	
VHT 5/2	V vrub umístěný v tepelně ovlivněné oblasti kolmo k povrchu, střed vrubu je vzdálený 5 mm od referenční linie, 2 mm pod povrchem zkoušeného vzorku.	
VWT 0/2	V vrub umístěný ve svarovém kovu kolmo k povrchu, 2 mm pod povrchem zkoušeného vzorku.	
Z	Kontrakce.	[%]
ZM	Základní materiál.	

1 Úvod

V současné době je svařování v ochranné atmosféře aktivního plynu asi nejrozšířenější metoda. Tato metoda si díky snazší mobilitě a poklesu cen svářeček získává přízeň také u hobby svářečů.

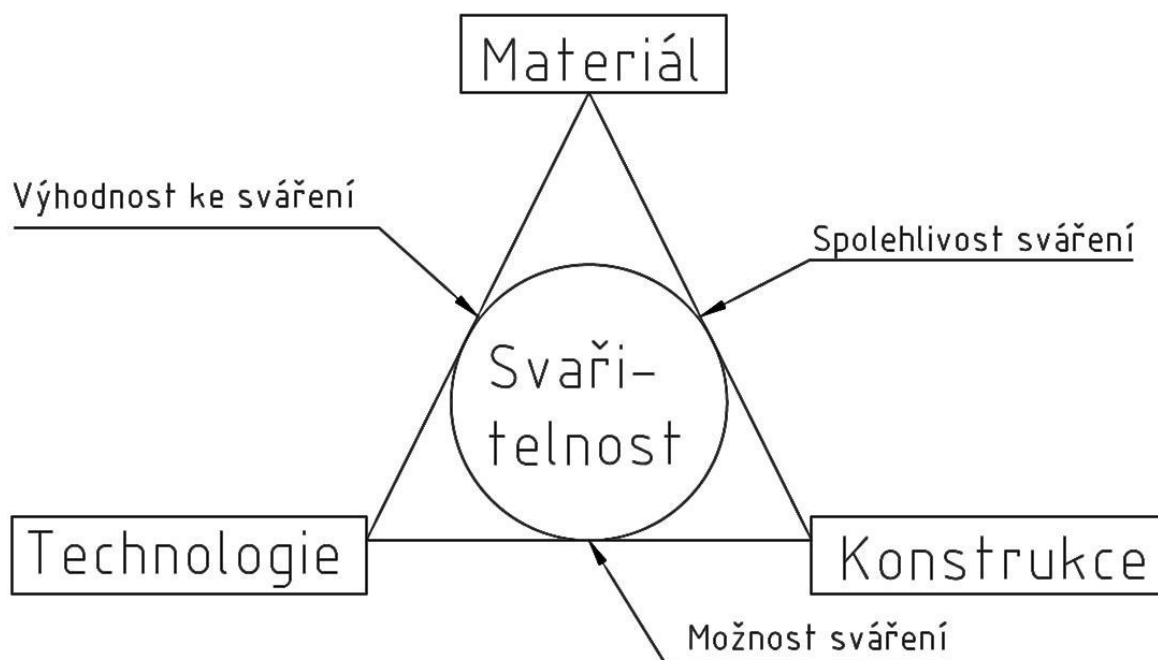
Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout technologii pro svařování ozubeného kola, pro lodní průmysl, a následné svaření. Popsat problematiku svařitelnosti uhlíkových a martenzitických korozivzdorných ocelí. Stručně charakterizovat metodu 135 (MAG). Dále pak definovat heterogenní spoje a předeřev.

1.1 Úvod svařování metody 135

Použití plynové ochrany při obloukovém svařování se začalo v průmyslu používat v roce 1930 a to při svařování obalenou elektrodou. Přibližně v roce 1950 se začala používat metoda obloukového svařování tavící se elektrodou v inertním plynu, která je označena mezinárodní zkratkou 131 (MIG). Metoda 135 (MAG) se začala používat v roce 1955 pro svařování nelegovaných ocelí. U této metody byl použit ochranný plyn CO_2 , který disponoval nižšími náklady než u ochranného plynu metody 131. Ochranný plyn CO_2 při teplotách nad 700°C působí oxidačně, do teploty 700°C se chová jako interní plyn. [1]

2 Svařitelnost

Svařitelností vyjadřujeme vhodnost materiálu k vytvoření svarového spoje na základě požadovaných fyzikálních, mechanických a chemických vlastností materiálu při daných konstrukčních, metalurgických a technologických možnostech, které splní stanovené požadavky, jakost, životnost a spolehlivost svarového spoje. Svařitelnost ovlivňují faktory, které jsou znázorněné na obr. 1. Svařitelnost se určuje z pravidla podle chemického složení, mechanických vlastností, náchylnosti k absorpci plynů, struktuře materiálu, odolnosti proti korozi, chování materiálu při vysokých teplotách, při rychlém ohřevu (ochlazování). Dále taky závisí na stavu materiálu, například žíhaný, zakalený atd. [2, 3]



Obr. 1 - Faktory ovlivňující svařitelnost. [4]

Materiálová svařitelnost

Vhodnost kovu ke svařování. Změna vlastností kovu v TOO v dopadu působení teplotního cyklu svařování. Způsobnost kovu ke svařování je určena především tepelným zpracováním, výroby kovu a chemickým složením. [4]

Technologická svařitelnost

Vyjadřuje působení použité technologie, metody svařování na vlastnosti svarového spoje je určena především postupem kladní jednotlivých vrstev svaru, přídavným materiálem, parametry svařování, metodou svařování. [4]

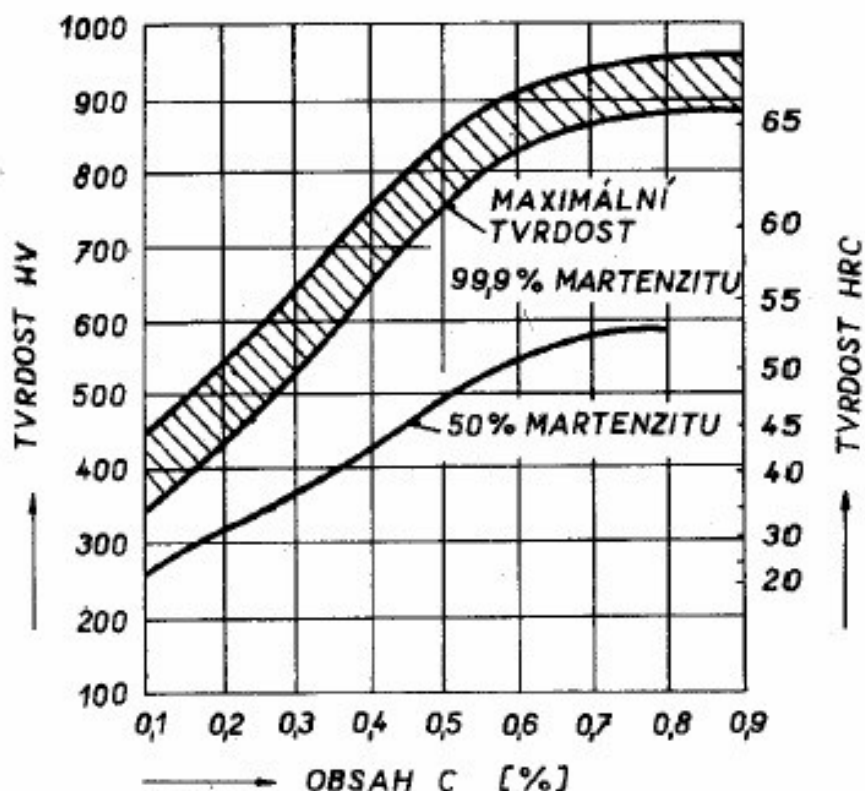
Konstrukční svařitelnost

Vyjadřuje působení konstrukčního řešení svarového spoje pro dané provozní podmínky, je určena tuhostí spoje ve svařenci, tvarem a přípravou svarových ploch, tloušťkou materiálu, velikostí, tvarem, uspořádáním spojů, vyloučením konstrukčních vrubů a rozložení svarů v závislosti na namáhání. [4]

2.1 Svařitelnost uhlíkových ocelí

Uhlíkové oceli a jejich vlastnosti jsou definovány obsahem uhlíku. Obsah uhlíku se pohybuje od velmi nízkého obsahu až do obsahu 1,7 hm. %. U technických ocelí je obsah uhlíku nad 1,3 hm. % docela vzácný. Obsah síry a fosforu se v těchto ocelí vyskytuje

v minimální míře. Čím vyšší obsah uhlíku, tím vyšší mez pevnosti, mez kluzu a tvrdost. Se zvyšujícím se obsahem uhlíku se snižují plastické vlastnosti. Pokud při svařování těchto ocelí obsah uhlík dosáhne 0,25 hm. %, tak vzniká vnitřní pnutí, které může vést ke vzniku prasklin. Maximální tvrdost svarového spoje bývá nejčastěji v TOO a to 350 HV, viz obr. 2. [1, 2]



Obr. 2 - Závislost obsahu uhlíku na tvrdosti oceli způsobené přítomností martenzitu. [2]

Oceli s obsahem uhlíku $C < 0,25$ hm. % není nutné opatřit zvláštní podmínky při svařování. Naopak u uhlíkových ocelí s obsahem uhlíku $C > 0,25$ hm. % se zařazují do ocelí podmíněně svařitelných a je nutné použít zvláštní opatření, chceme-li ocel svařit bez prasklin. [2, 5]

Zvláštní opatření

Předehřev, lze přibližně volit podle tvaru svarového spoje, obsahu uhlíku a tloušťky stěny. Teploty předehřevu jsou uvedeny v tab. 1. Předehřevem se sníží rychlost ochlazování a sníží se nebezpečí zakalení struktury. [5]

Tab. 1 - Teplota předehřevu v závislosti na obsahu uhlíku. [2]

Obsah uhlíku v hm. %	Teplota předehřevu v °C
0,20 až 0,30	100 až 150
0,30 až 0,45	150 až 275
0,45 až 0,80	275 až 425

Podobný účinek jako teplota předehřevu má také svařování s vysokým tepelným příkonem. Díky většímu ohřevu okolí svaru dochází k pomalejšímu ochlazování. Používá se technologie, která umožňuje větší tepelný příkon. [5]

Uhlíkový ekvivalent

V průběhu výroby svarového spoje může docházet k degradaci, přihlížíme k ní při výběru oceli, vlastností materiálu. Z jednoho hlediska posouzené souhrnné charakteristiky ocelí pro danou součást je určení tzv. ekvivalentního obsahu uhlíku C_e . Pomocí tohoto ekvivalentu lze určit svařitelnost ocelí na odlitky a nízkolegovaných, nelegovaných a středně legovaných tvářených ocelí. Svařovat bez zvláštních opatření lze oceli s obsahem uhlíku $C \leq 0,22$ hm. %, ekvivalentní obsah uhlíku $C_e \leq 0,50$ je počítán podle rovnice: [2, 5]

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{15} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} + 0,0024t \quad [hm. \%] \quad (1)$$

t ... tloušťka plechu

Pro materiály s obsahem prvků: C=0,22 hm%, Cr= 1 hm. %, Mn=1,6 hm. %, V=0,14 hm. %, Cu=0,30 hm. %, Ni=3,0 hm. %. [2]

Pro oceli s obsahem C>0,18 hm. % navrhl mezinárodní svářečský institut (IIW) navrhl vzorec pro výpočet uhlíkového ekvivalentu: [2]

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad [hm. \%] \quad (2)$$

2.2 Svařitelnost korozivzdorných ocelí

Jsou to vysoce legované oceli s vyšší odolností proti elektrochemické a chemické korozi. K odolnosti těchto ocelí ke korozi slouží pasivovaná vrstva. Tato pasivovaná vrstva může být za určitých podmínek lokálně porušena, pak dochází ke vzniku koroze v místě porušení pasivity. Korozivzdorné oceli se používají například v automobilovém průmyslu,

na výrobu chirurgických nástrojů, ve vzduchotechnice, na výrobu lopatek pro praní turbíny, atd. [6]

Pod cca 400°C jsou tyto oceli náchylné ke studeným trhlinám v závislosti na obsahu vodíku a uhlíku a úrovně zbytkového pnutí. Předehřev a tepelné zpracování je doporučen. Dále preferují vysokou tažnou sílu a tvrdost, dobrá pevnost, nejčastěji u ocelí s nízkým obsahem uhlíku. [2, 5]

Martenzitické korozivzdorné oceli

Tyto oceli obsahují 11,5 až 18 hm. % Cr. Svařování probíhá v žíhaném, popuštěném, tvrdém nebo zušlechťeném stavu. Tyto tepelné zpracování prakticky nemají vliv na zakalené TOO. Největší problém při svařování této oceli je prokalitelnost a následná náchylnost na tvorbu studených trhlin, tudíž je třeba pro svařování martenzitické oceli použít předehřev a použít dohřev svarových spojů. Mezi tím kontrolujeme teplotu interpass. U klasických martenzitických ocelí s obsahem 12 až 13 hm. % Cr se doporučuje teplota předehřevu přibližně 250°C, to je mezi M_f (cca 100 až 150°C) a M_s . Za této teploty předehřevu přetrvává ve struktuře přijatelný obsah austenitu, ve kterém se neúplně se snižuje vnitřní pnutí a rozpouští difuzní vodík. Další doporučení při svařování těchto ocelí je použít přídavný materiál s menšími průměry, tudíž dojde k vyžhání předchozí vrstvy vrstvou následující. Dohřev umožňuje difuzi vodíku a ustálí vnitřní pnutí. [2, 5]

U těchto ocelí se nejvíce klade důraz mechanické vlastnosti a to nejčastěji na hodnotu vrubové houževnatosti. Z toho vyplývá, že svarové spoje martenzitických ocelí je nutné tepelně zpracovat. Nejčastější forma tepelného zpracování je žhání ke snížení vnitřního pnutí při teplotách A_{c1} . Cílem je také popustit martenzit-zvýšit tažnost a houževnatost a snížit tvrdost a pevnost. U svarků tuhých, tlustostěnných a tvarově složitých je potřeba uskutečnit tepelné zpracování bezprostředně po svaření bez meziochlazení na teplotu okolí. Jestli to není možné, musíme svarek udržovat na meziperační teplotě minimálně 100°C až do doby, kdy budeme svarek tepelně zpracovávat. Aby proběhla martenzitická transformace, musíme svarky ochladit pod teplotu M_f , přesto může ve svarovém kovu a v TOO jako dopad likvačních a segregčních procesů zůstat zbytkový austenit. Austenit se rozpadá při prvním žhání na martenzit. Abychom dosáhli feriticko-karbidické mikrostruktury je potřebné použít dvojnásobné žhání. Jelikož jsou tyto oceli vrubově citlivé, tak se musíme vyhnout všem vrubům, například ostré přechody, průvary, studené spoje atd. Také jsou martenzitické oceli citlivé na nízkoteplotní žhací praskavost

zapříčiněnou velkou rychlostí ohřevu na žíhací teplotu. Rychlosti ohřevu na žíhací teplotu se nejčastěji určují v rozmezí 30 až 80°C/1h podle tvarové složitosti a tuhosti svarku. [5]

Pokud po sváření není uskutečnitelné tepelné zpracování, musí se svarové plochy navařit přídavným materiálem austenitickým. Tento návar je nutné provést při nízkém tepelném příkonu a při nízké teplotě předehřevu. Poté tento návar tepelně zpracujeme a připravíme nové plochy pro svařování. Aby nebyl základní materiál následným svařováním tepelně ovlivněn, musí být tloušťka předchozího návaru dostatečně velká i po opracování. Dále tyto spoje svařujeme bez předehřevu austenitickým přídavným materiálem, tepelné zpracování neprovádíme. [2, 5]

Pro svařování martenzitických chromových ocelí se používají přídavné materiály stejného chemického složení jako základní materiál, dále s nízkým obsahem difuzního vodíku. Austenitické přídavné materiály můžeme použít, pokud to dovolí nároky na mez pevnosti. Přídavné materiály ze slitiny Ni-Cr jsou vhodné pro svařování velmi tuhých svarků. Tyto přídavné materiály se vyznačují dobrými plastickými vlastnostmi a nevytvrzují. [2, 5]

3 Metoda 135

Metoda 135 se nejvíce využívala při svařování nelegovaných ocelí, kde účinek CO₂ a O₂ není příliš výrazný. U nelegovaných ocelí můžeme snadno odstranit vliv působení oxidačních složek přidáním dezoxidačních přísad do přídavných materiálů. Tímto však vývoj 135 neskončil. V dalších letech se rozšířilo jeho průmyslové využití a vynalezly se nové způsoby použití, jako např. svařování zkratovým, impulzivním nebo kombinovaným přenosem. Hlavním přínosem byly nové druhy aktivních plynů, směsi Ar+O₂, Ar+CO₂, Ar+CO₂+O₂. [1]

3.1 Charakteristika svařování 135

Svařování 135 je obloukové svařování, kde se taví elektroda pod ochranou přídavného plynu a vytváří svarový spoj, který následně tuhne a vytváří určitou fyzikální vazbu spojovaných materiálů. V průběhu chladnutí se tato vazba spoje dále vytvrzuje. Je to v souladu se změnami vlastností kovů vyvolaných změnou teploty. V průběhu ohřevu, ochlazování a tavení elektrody dochází při svařování 135 k různým metalurgickým dějům. Průběh těchto dějů může velice ovlivnit výsledné vlastnosti svařovaných spojů. Metoda

svařování 135 patří tedy mezi metalurgické způsoby spojování kovových materiálů. [1, 7, 8]

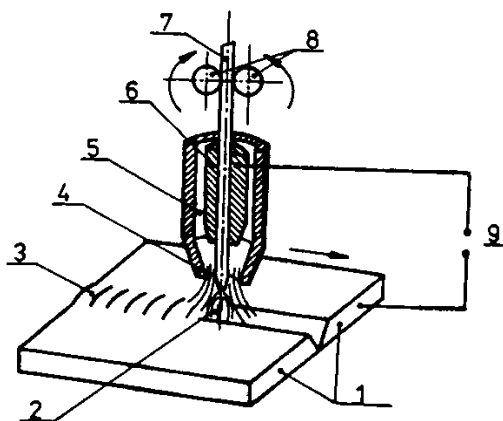


Obr. 3 - Ukázka svařování metodou 135. [9]

3.2 Princip metody 135

Elektroda, v tomto případě drát, je podávacím mechanismem podáván do hořáku. Aktivní plyn je nejčastěji CO₂ nebo směsí CO₂, argonu a kyslíku. Elektroda, drát je navinut na cívce. [10]

Svařovací zařízení se vyrábějí automatická a poloautomatická nebo se používají v kombinaci se svařovacím robotem. [10]



Obr. 4 - Princip obloukového svařování tavící se elektrodou. [10]

1- Svařovaný materiál,

2- elektrický oblouk,

3- svar,

4- plynová hubice,

5- ochranný plyn,

6- kontaktní průvlak,

7- přídavný drát,

8- podávací kladky,

9- zdroj proudu. [10]

3.3 Přídavné materiály

3.3.1 Svařovací drát - charakteristika

U metody 135 se jako přídavný materiál používá elektroda (drát) nebo trubička plněné metalickým práškem. Dráty se vyrábějí v rozměrech o průměru 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6 a 2,4 mm. Tyto dráty jsou dodávány navinuté na cívkách. Cívky pro ruční svařování jsou o hmotnosti 5, 15 a 18 kg a pro robotizované svařování o hmotnosti 250 kg. Drát je chráněn měděným povlakem proti korozi, který má také pozitivní vliv na přenos proudu z průvlaku na konci hořáku na elektrodu. Dráty jsou pro nelegované a jemnozrnné oceli dodávány a označovány podle normy ČSN EN ISO 14341. [1, 8, 11]

Oproti klasickému plnému drátu se trubičkové elektrody využívají mnohem méně a jejich rozdělení lze nalézt v normě ČSN EN ISO 17632. [8]

3.3.2 Aktivní ochranný plyn - charakteristika

Ochranný plyn slouží k ochraně svarové lázně před účinky atmosféry a k přenosu tepelné energie do svarové lázně. [8]

CO₂ – oxid uhličitý

Označuje se na tlakových lahvích černým pruhem na hrdle v kombinaci s 20 mm širokým pruhem chromové žlutí. [8]

Směs plynu Ar 80 % s CO₂ 20%

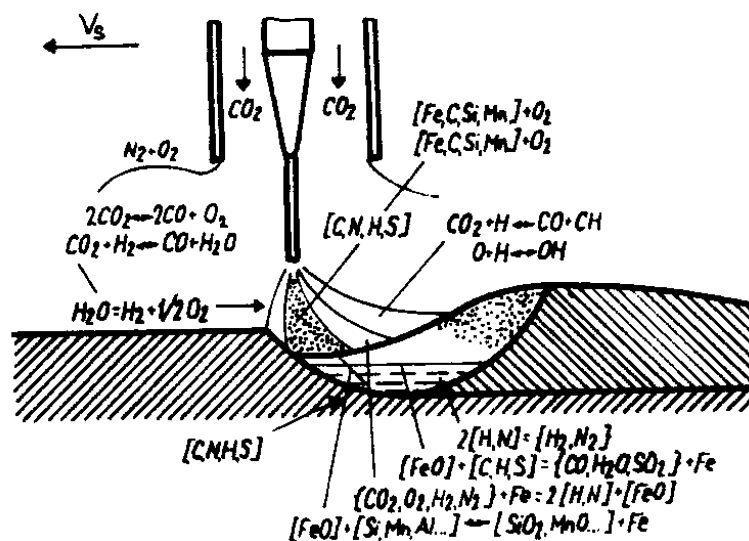
Obvyklé použití je pro svařování ocelí s vyšší mezí kluzu a pro svařování tenkých plechů. Mezi jeho výhody řadíme lepší vzhled svaru a menší rozstřík. [8]

Směs plynu Ar 80 %, CO₂ 15 % a O₂ 5 %

O₂ má vliv na zvýšení výkonu odtaveného kovu elektrody. Podobné vlastnosti jako plyn viz výše. [8]

Ochranný plyn, který vystupuje z hubice hořáku, obklopuje elektrický oblouk a svarovou lázeň, tudíž zabráňuje okolní atmosféře k přístupu do svarové lázně. Avšak aby splňoval svůj účel, je nutné, aby vystupoval z hubice bez turbulence a to z důvodu zabránění přisávání z okolí. Obvykle se jako aktivní ochranný plyn používá CO₂ a dále s kombinací argonu a kyslíku. CO₂ není interní plyn, ale aktivní. Tento plyn aktivně působí na svarovou

lázeň a chemické reakce probíhají v elektrickém oblouku. Za působení vysoké teploty elektrického oblouku vzniká termická disociace a neúplná ionizace sloučenin a prvků, které lze nalézt ve sloupci elektrického oblouku. Energie ionizační a disociační se ukazuje při rekombinaci na docela chladném povrchu svarové lázně, tím dochází ke zvýšení hloubky průvaru svaru. Plyny, jejichž molekuly jsou tvořeny dvěma a více atomy, například O_2 , H_2 , CO_2 , mohou tuto funkci uskutečnit, za předpokladu, že v tom nebrání metalurgické důvody. U plynů jednoatomových, například Ar, He, dochází přímo k ionizaci. [1, 8]



Obr. 5 - Děje, které probíhají v elektrickém oblouku CO2-135. [8]

Škodlivé působení H_2

Tomuto působení zabráníme odstraněním zdrojů možného vzniku a to použitím CO_2 s minimálním obsahem H_2O . Dále pak svařované plochy musí být suché, čisté a odmaštěné. [8]

3.4 Přenos materiálu elektrickým obloukem

Bezzkratový přenos

Po dosažení určitých parametrů, proudové hustoty, vzniknou na elektrodě kapky kovu. Průměr těchto kapek je menší, než délka oblouku. Pokud se zvýší proudová hustota, tak se zvýší jejich počet a zmenší se průměr. Horší podmínky pro svařování v různých polohách. Tento typ přenosu materiálu se v případě, kdy je větší množství odtaveného materiálu, tím pádem vzniká větší svarová lázeň. Nestabilita elektrického oblouku vyvolává ztráty ve

formě rozstříku, který je brán jako důležitá hodnota tohoto typu přenosu. Patříčnou volbou přídavného materiálu této ztrátě můžeme omezit. [8]

Zkratový přenos

V průběhu přenosu nastane okamžik, ve kterém dojde ke styku nataveného konce elektrody se svarovou lázní. Ke vzniku svarové lázně dojde díky dynamickým účinkům elektrického oblouku a silám povrchového napětí svarové lázně. Tento typ přenosu se používá ve všech svařovacích polohách a uskutečňuje se za předpokladu nižších proudových hodnot. Důležité je správné nastavení svařovacích parametrů. [8]

4 Svařování různorodých materiálů

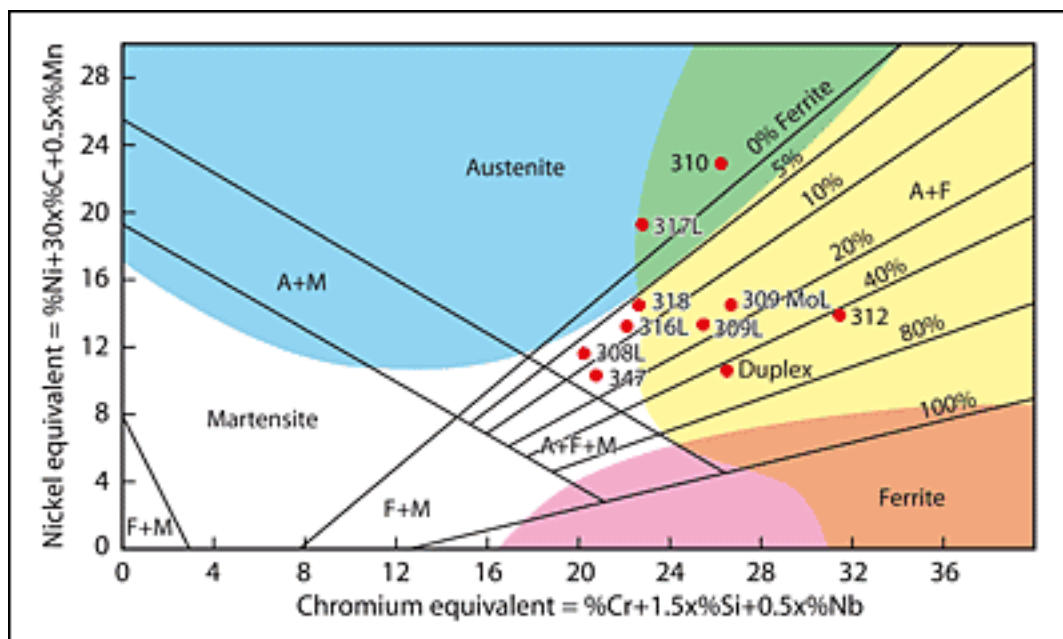
Svařování 135 lze použít i pro svařování materiálů s různým chemickým složením. Při výrobě spoje musíme brát zřetel na některé charakteristické vlastnosti svařování, respektive svařování metodou 135, především charakteristickou hloubku natavení svařovaných materiálů. Při svařování různorodých materiálů metodou 135 dochází k velkému vzájemnému smíšení různorodých materiálů ve svarové lázni, jehož důsledek může být nežádoucí chemické složení návaru nebo svařovaného kovu. Proto vesměs používáme varianty, které redukují hloubku průvaru, například svařování impulzivní, krátkým obloukem nebo elektrovibrační. Postup svařování musíme volit tak, aby oblouk přímo nenatavoval svarovou plochu a vždy by měl být správně orientovaný na již vyrobenou svarovou housenku nebo plochu. Při dlouhodobém provozu, tepelném zpracování za teplot vyšších než 350 °C se uskutečňují, mezi svarovou lázní a základním materiálem, velké difúzní pochody obvykle uhlíku. Důsledek těchto pochodů je tvorba nauhličených a oduhličených pásem s degradovanými vlastnostmi, které způsobují menší životnost, spolehlivost a bezpečnost svarového spoje. [1, 2, 5]

4.1 Schaefflerův diagram

Při postupu svařování různorodých materiálů je brán zřetel na provozní teplotu, dobu namáhání svarového spoje. Tyto parametry udávají stabilitu přechodu mezi základními materiály a svarovým kovem, jestliže jsou přechody nestabilní, dochází k degradaci vlastností v přechodech. [2, 5]

Z Schaefflerova diagramu, který je uveden na obrázku 4., lze zjistit strukturní stavy. Tyto stavy zjistíme v oceli v závislosti na chemickém složení po rychlém ochlazení

z rozpouštěcí teploty 1 050 °C na teplotu 20 °C. V přechodu mezi feritickou ocelí a austenitickým svarovým kovem se objevuje směs martenzitické struktury. Tato struktura v závislosti na obsahu uhlíku může ulehčit postup při svařování. V případě výskytu martenzitu se musí použít předehřev k zabránění vzniku martenzitu s vyšším obsahem uhlíku. Předehřevem snížíme stav napjatosti svarového spoje popuštěním martenzitu. Zdrojem studených trhlin může mít za následek změna martenzitu z austenitu za teplot okolo 200 °C a následným ochlazením na teplotu 20 °C. [2]



Obr. 6 - Schaefflerův diagram (A-austenit; M-martenzit; F-ferit). [12]

4.2 Přídavný materiál pro svařování různorodých spojů

Na svařování 135 různorodých materiálů se používají speciální přídavné materiály na bázi ocelí nebo na bázích vysokolegovaných niklových slitin. Přehled přídavných materiálu je v tabulce v příloze A. [2]

5 Návrh technologie svařování ozubeného kola

Svařenec tohoto ozubeného kola je tvořen ze tří částí, a to náboje, disku a věnce, viz výkres BIE_SVARENEC_S02 v příloze D. Návrh technologie pro zhotovení svařence ozubeného kola byl rozdělen do etap:

- Návrh základního materiálu ozubeného kola.
- Návrh technologie a metody svařování ozubeného kola.
- Návrh přídatného materiálu pro svařování ozubeného kola.
- Výpočet náchylnosti oceli na vznik teplých a studených trhlin.
- Stanovení technologického postupu.
- Ověření vlastností svarového spoje a vyhodnocení.

5.1 Návrh základního materiálu pro výrobu ozubeného kola

Pro disk a věnec byl zvolen materiál S355J2C+N (uhlíková konstrukční ocel) dle ČSN EN 10027-1, jehož mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 2 a chemické složení v tabulce 3. Tento materiál je vhodný pro svařované ocelové konstrukce. [13]

Tab. 2 - Mechanické vlastnosti materiálu S355J2C+N. [14]

Mechanické vlastnosti			
Označení	R _e [MPa]	R _m [MPa]	A [%]
S355J2C+N(1.0579)	345	470-630	20-22

Tab. 3 - Chemické složení materiálu S355J2C+N. [14]

Chemické složení [hm. %]				
C	Si	Mn	P	S
≤ 0,20	≤ 0,55	≤ 1,60	≤ 0,035	≤ 0,035

Pro náboj byl zvolen materiál X4CrNiMo16-5-1 (martenzitická korozivzdorná ocel) dle ČSN EN 10027-1, jehož mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 4 a chemické složení v tabulce 5. Tento materiál je vhodný pro použití v lodním průmyslu, pro kola vodních turbín, na armatury atd. [13]

Tab. 4 - Mechanické vlastnosti materiálu X4CrNiMo16-5-1. [15]

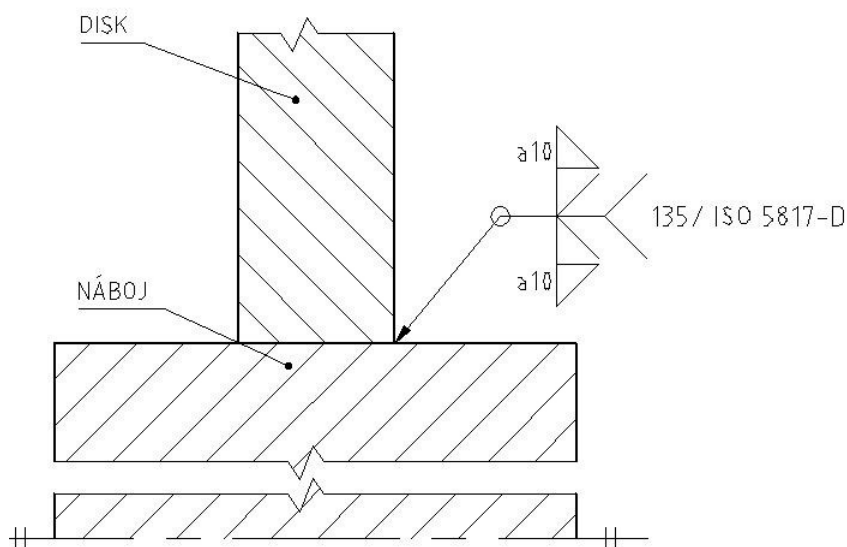
Mechanické vlastnosti				
Označení	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A [%]	Vrubová houževnatost [J]
X4CrNiMo16-5-1(1.4418)	min. 680	840 – 980	min. 14	min. 55

Tab. 5 - Chemické složení materiálu X4CrNiMo16-5-1. [15]

Chemické složení [hm. %]								
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N
$\leq 0,06$	max. 0,70	max. 1,50	max. 0,040	max. 0,015	15,00 – 17,00	4,00 – 6,00	0,80 – 1,50	\geq 0,020

5.2 Návrh technologie a metody svařování ozubeného kola

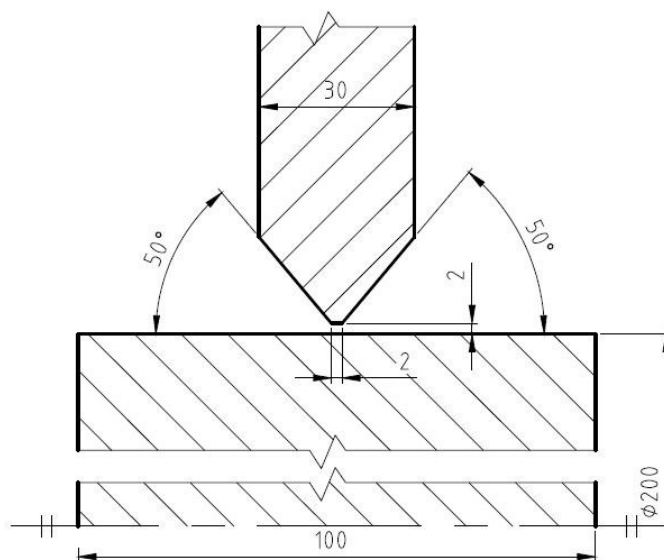
Jedním úkolem této práce bylo navrhnout vhodnou technologii pro zhotovení svaru mezi nábojem a diskem, který je zobrazen na obr. 7, jedná se tedy o heterogenní spoj. Všechny potřebné rozměry jsou uvedeny na výkrese BIE_SVARENEC_S01, který je uveden v příloze B.



Obr. 7 - Umístění svaru.

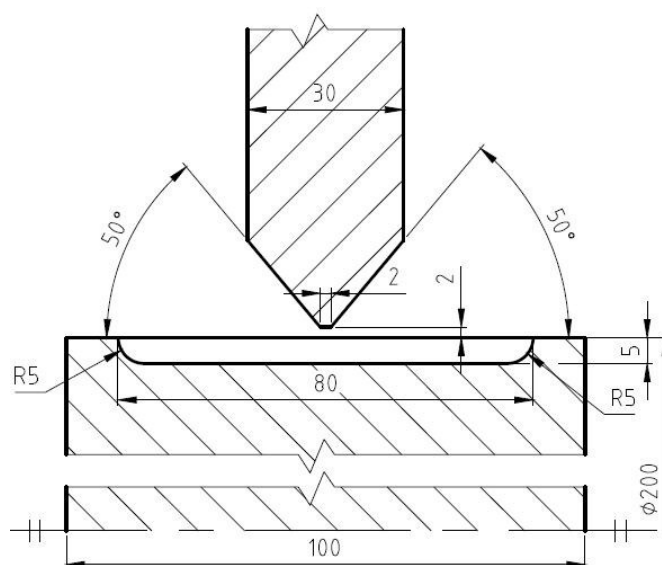
Pro výrobu ozubeného kola byly navrženy dvě varianty řešení. První varianta je zobrazena na obrázku 8 a druhá varianta na obrázku 9.

Obě varianty byly zhotoveny ve svislé poloze za pomoci polohovacího systému. U varianty 1 byl zhotoven mezi nábojem a diskem oboustranný V svar a oboustranný koutový svar.



Obr. 8 - Příprava svarové plochy- varianta 1.

U varianty 2 byla provedena úprava svarové plochy na náboji. Do zúžené oblasti náboje se zhotovily dvě vrstvy svaru, které se tepelně zpracovaly za účelem snížení zbytkových napětí po svařování a snížení tvrdosti TOO. Dále se provedl mezi nábojem a diskem oboustranný V svar a oboustranný koutový svar.



Obr. 9 - Příprava svarové plochy- varianta 2.

Na základě použitého materiálu, typu spoje byla navržena metoda 135 (MAG).

5.3 Návrh přídatného materiálu pro svařování ozubeného kola

Svařovací drát, OK Autrod 309LSi (EN ISO 14343-A:G 23 12 LSi [16])

Tento drát je vhodný pro svařování korozivzdorných ocelí a pro heterogenní spoje. Zvýšený obsah Si zlepšuje operativní vlastnosti. Dále se používá jako mezivrstva při svařování plátových ocelí nebo pro konstrukce, které vyžadují odolnost proti žáru do 1000 °C. Mechanické vlastnosti drátu jsou uvedeny v tabulce 6 a chemické složení v tabulce 7. [17]

Tab. 6 - Mechanické vlastnosti drátu OK Autrod 309LSi. [17]

Mechanické vlastnosti čistého svarového kovu				
Plyn	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	A [%]	KV (+20°C) [J]
M12	440	600	41	160

Tab. 7 - Chemické složení drátu OK Autrod 309LSi. [17]

Chemické složení [hm. %]				
C	Si	Mn	Cr	Ni
< 0,03	0,80	1,80	24,0	13,0

Ochranný plyn, Inoxline C2 (ČSN EN ISO 14175 – M12 [18])

Tento plyn se nejčastěji používá pro vysokolegované oceli. Chemické složení plynu je uvedeno v tabulce 8. [19]

Tab. 8 - Chemické složení plynu Inoxline C2. [19]

Chemické složení [hm. %]	
Ar	CO ₂
97,5	2,5

5.4 Výpočet náchylnosti oceli na vznik teplotních trhlin

Pokud je $H.C.S > 4$, tak je ocel náchylná na vznik teplotních trhlin. [20]

Výpočet pro ocel S355J2C+N

$$H.C.S = \frac{C \cdot \left(S + P + \frac{Si}{25} + \frac{Ni}{100} \right) \cdot 10^3}{3 \cdot Mn + Cr + Mo + V} \quad [\%] \quad (3)$$

$$H.C.S = \frac{0,20 \cdot \left(0,035 + 0,035 + \frac{0,55}{25} \right) \cdot 10^3}{3 \cdot 1,60} = 3,83 \%$$

Pro ocel S355J2C+N je $H.C.S = 3,83 \%$. Ocel není náchylná na vznik teplotních trhlin. [20]

5.5 Výpočet náchylnosti oceli na vznik studených trhlin

Výpočet pro ocel S355J2C+N

Pokud je $C_e > 0,45 \text{ hm. \%}$, tak je ocel náchylná na vznik studených trhlin. [2]

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad [\text{hm. \%}] \quad (4)$$

$$C_e = 0,20 + \frac{1,60}{6} + \frac{0,55}{15} = 0,503 \text{ hm. \%}$$

Pro ocel S355J2C+N je $C_e = 0,503 \text{ hm. \%}$. Ocel je náchylná ke vzniku studených trhlin. [2]

Abychom předešli vzniku studených trhlin, použijeme předehřev, popřípadě dohřev a vyšší měrný příkon. Další opatření k zamezení vzniku studených trhlin jsou např. volba vhodného typu svařování, používání nízkovodíkové technologie svařování, sušení přídavných materiálů atd. [2, 20]

6 Technologický postup

Jako první byl stanoven postup výroby jednotlivých částí svařence ozubeného kola (viz bod 6.1). Dále pak byly určeny parametry pro svařování a vytvořen záznam svařování (viz bod 6.2).

6.1 Postup výroby jednotlivých částí

Nejprve byl disk řezán kyslíkem z tabule plechu 30x2000x3000 na požadovaný rozměr. Příprava úkosů pro svařování soustružením. Jako další byl řezán věnec z tabule plechu 110x2000x4000 na požadovaný rozměr. Dále byl připravován náboj řezáním na pásové pile z tyče Ø200x6000 na požadovaný rozměr a následné obrábění čel náboje. Příprava zúžení náboje pro svařování, u druhé varianty, soustružením.

Použité stroje

-Řezací stroj kyslík-acetylén, soustruh karusel VLC 1200+ATC, pásová pila Pilous AGR 300 H, soustruh SU 40

6.2 Identifikace parametrů a záznam svařování

Postup svařování pro obě varianty byl stanoven dle ČSN EN ISO 15609-1. Poloha svařování pro koutový svar byla zvolena PB a pro tupý svar PA dle ČSN EN ISO 6947. [21, 22]

6.2.1 Identifikace a záznam parametrů svařování-varianta 1

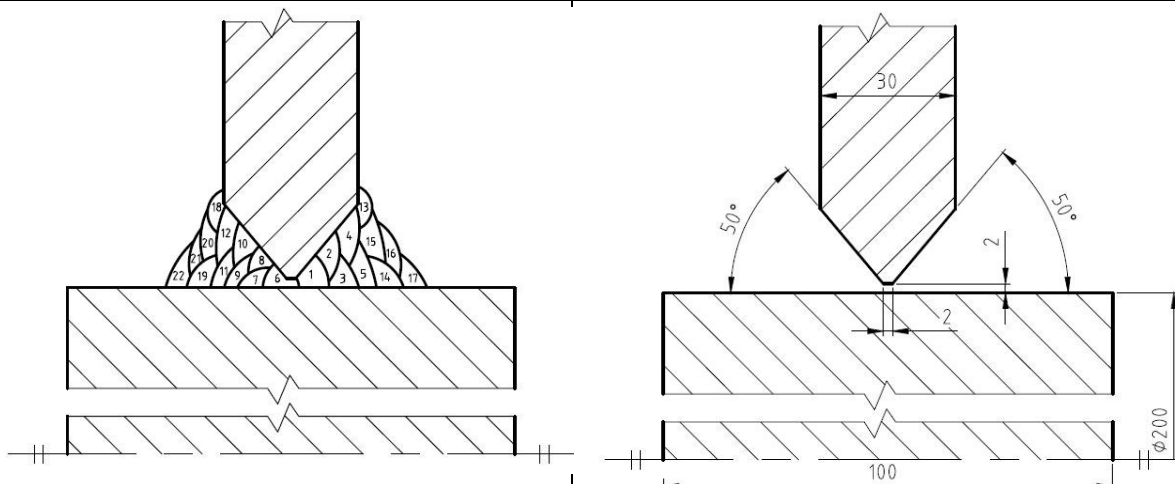
Identifikace parametrů pro svařování ozubeného kola jsou znázorněny v tabulce 9 a 10. Záznam svařování je znázorněn v tabulce 11 a 12.

Tab. 9 - Identifikace parametrů svařování- varianta 1.

Základní materiály			
Označení:		S355J2C+N, X4CrNiMo16-5-1	
Tloušťka:	Plech: 30,0 mm	Vnější průměr:	Náboj: 200,0 mm
Svařovací materiály			
Typ (Index):	Označení:	Výrobce:	Norma:
Drát (A)	OK Autrod 309Lsi	ESAB	ČSN EN ISO 14175-M12
Ochranný plyn (B)	Inoxline C2	Messer	EN ISO 14343-G 23 12 Lsi
Druh svarového spoje:		Oboustranný V svar, oboustranný koutový svar	
Poloha svařování:		FW: PB // BW: PA	
Metoda svařování:		135 (MAG)	

Tab. 10 - Identifikace parametrů svařování- varianta 1 (pokračování).

Příprava úkosu:	Frézování, broušení	Čištění:	Kartáčování, broušení
Ochrana svaru:	B	Množství:	18 l/min
Ochrana kořene:	-	Množství:	-
Šířka housenky (rozkyv):	max. 15 mm	Vzdálenost kontaktní špičky:	20 mm
Sklon hořáku:	-	Údaje o pulsním svařování:	-
Způsob přenosu kovu:	Sprchový, kapkový	Další informace:	-
Postup svařování:		Schéma spoje:	



Tab. 11 - Záznam svařování- varianta 1.

Parametry svařování:									
Housenka	Průměr [mm]	Metoda	Index	Napětí [V]	Proud [A]	Proud/polarita	Rychlost svařování [mm/s]	Rychlost podávání drátu [m/min]	Tepelný příkon [kJ/mm]
Oboustranný V svar									
1	1,2	135	A+B	23	183	DC/+	3,0	6,0	1,12
2	1,2	135	A+B	23	183	DC/+	4,5	6,0	0,75
3	1,2	135	A+B	26	242	DC/+	3,6	8,5	1,37
4	1,2	135	A+B	26	233	DC/+	4,7	8,5	1,03
5	1,2	135	A+B	27	237	DC/+	3,5	8,5	1,44

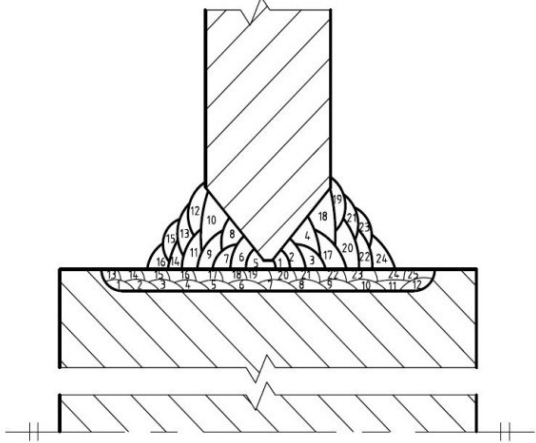
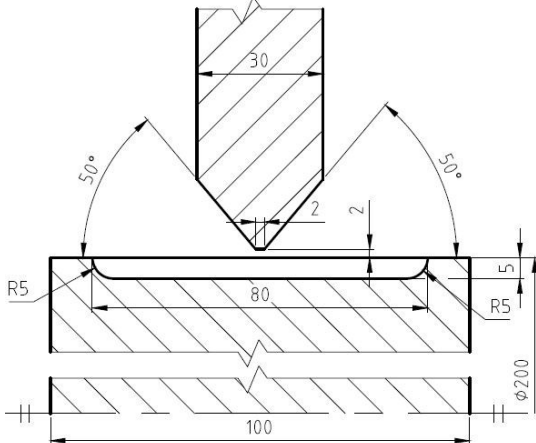
Tab. 12 - Záznam svařování- varianta 1 (pokračování).

Drážkování kořene (otočeno)									
6	1,2	135	A+B	27	273	DC/+	4,3	9,0	1,35
7	1,2	135	A+B	27	267	DC/+	5,0	9,0	1,13
8	1,2	135	A+B	27	275	DC/+	3,9	9,0	1,50
9	1,2	135	A+B	27	243	DC/+	4,2	9,0	1,22
10	1,2	135	A+B	27	252	DC/+	4,5	9,0	1,19
11	1,2	135	A+B	27	240	DC/+	4,4	9,0	1,15
12	1,2	135	A+B	27	240	DC/+	4,6	9,0	1,11
Koutový svar									
13	1,2	135	A+B	27	237	DC/+	4,9	9,0	1,03
14	1,2	135	A+B	27	232	DC/+	3,8	8,4	1,29
15	1,2	135	A+B	27	246	DC/+	3,7	9,0	1,41
16	1,2	135	A+B	27	240	DC/+	4,5	9,0	1,13
17	1,2	135	A+B	27	231	DC/+	5,6	8,5	0,87
18	1,2	135	A+B	27	238	DC/+	5,0	9,0	1,01
19	1,2	135	A+B	27	238	DC/+	3,7	9,0	1,36
20	1,2	135	A+B	27	241	DC/+	4,5	9,0	1,13
21	1,2	135	A+B	27	236	DC/+	4,7	9,0	1,06
22	1,2	135	A+B	27	230	DC/+	5,5	9,0	0,89
Použité stroje/nástroje:									
Teploměr: Omega HH22, S. No.: T263285									
Multimetr: Omega HHM599, S. No.: 04000062									
Svařovací zdroj: Fronius TPS 5000 S/N: 22090911, Polohovadlo A&N Plant									
Tepelné zpracování:									
Při svařování:					Po svařování				
Teplota předehřevu:		80°C			Rychlost ohřevu:		-		
Teplota interpass:		max. 150°C			Čas/teplota výdrže:		-		
Čas/teplota dohřevu:		-			Rychlost ochlazování:		-		

6.4.2 Identifikace a záznam parametrů svařování-varianta 2

Identifikace parametrů pro svařování ozubeného kola jsou znázorněny v tabulce 13. Záznam svařování je znázorněn v tabulce 14 a 15.

Tab. 13 - Identifikace parametrů svařování- varianta 2.

Základní materiály			
Označení:		S355J2C+N, X4CrNiMo16-5-1	
Tloušťka:	Plech: 30,0 mm	Vnější průměr:	Náboj: 200,0 mm
Svařovací materiály			
Typ (Index):	Označení:	Výrobce:	Norma:
Drát (A)	OK Autrod 309Lsi	ESAB	ČSN EN ISO 14175-M12
Ochranný plyn (B)	Inoxline C2	Messer	EN ISO 14343-G 23 12 Lsi
Druh svarového spoje:		oboustranný V svar, oboustranný koutový svar	
Poloha svařování:		FW: PB // BW: PA	
Metoda svařování:		135 (MAG)	
Příprava úkosu: Příprava úkosu:	Frézování, broušení	Čištění:	Kartáčování, broušení
Ochrana svaru:	B	Množství:	18 l/min
Ochrana kořene:	-	Množství:	-
Šířka housenky (rozkyv):	max. 15 mm	Vzdálenost kontaktní špičky:	20 mm
Sklon hořáku:	-	Údaje o pulsním svařování:	-
Způsob přenosu kovu:	Sprchový, kapkový	Další informace:	-
Postup svařování:		Schéma spoje:	
			

Tab. 14 - Záznam svařování- varianta 2.

Parametry svařování:									
Housenka	Průměr [mm]	Metoda	Index	Napětí [V]	Proud [A]	Proud/ polarita	Rychlost svařování [mm/s]	Rychlost podávání drátu [m/min]	Tepelný příkon [kJ/mm]
Dvouvrstvý návar v poloze PA s otáčením									
1-12	1,2	135	A+B	23	210	DC/+	4,1	6,0	0,92
13-25	1,2	135	A+B	23	210	DC/+	4,1	6,0	0,92
Soustružení čepu na D=200 mm, tepelné zpracování čepu s návarem									
Oboustranný V svar									
1	1,2	135	A+B	26	239	DC/+	3,9	8,5	1,25
2	1,2	135	A+B	27	266	DC/+	3,0	9,0	1,88
3	1,2	135	A+B	26	266	DC/+	5,2	8,5	1,04
4	1,2	135	A+B	26	269	DC/+	3,1	8,7	1,77
Drážkování kořene (otočeno)									
5	1,2	135	A+B	26	280	DC/+	3,4	9,0	1,71
6	1,2	135	A+B	26	268	DC/+	3,2	9,0	1,74
7	1,2	135	A+B	26	257	DC/+	5,5	8,5	0,97
8	1,2	135	A+B	26	260	DC/+	3,9	9,0	1,39
9	1,2	135	A+B	26	262	DC/+	4,2	9,0	1,30
10	1,2	135	A+B	26	265	DC/+	4,2	9,0	1,31
11	1,2	135	A+B	26	267	DC/+	4,6	9,0	1,21
Koutový svar									
12	1,2	135	A+B	26	259	DC/+	4,6	9,0	1,17
13	1,2	135	A+B	26	251	DC/+	4,9	9,0	1,07
14	1,2	135	A+B	26	261	DC/+	3,8	8,4	1,43
15	1,2	135	A+B	26	261	DC/+	3,7	9,0	1,47
16	1,2	135	A+B	26	240	DC/+	4,4	9,0	1,14
17	1,2	135	A+B	26	266	DC/+	4,7	9,0	1,18
18	1,2	135	A+B	26	259	DC/+	5,2	9,0	1,04
19	1,2	135	A+B	26	258	DC/+	4,0	9,0	1,34
20	1,2	135	A+B	26	259	DC/+	4,2	9,0	1,28
21	1,2	135	A+B	26	251	DC/+	5,1	9,0	1,02

Tab. 15 - Záznam svařování- varianta 2 (pokračování).

22	1,2	135	A+B	26	257	DC/+	6,0	9,0	0,89
23	1,2	135	A+B	26	248	DC/+	5,3	9,0	0,97
24	1,2	135	A+B	26	237	DC/+	5,5	9,0	0,89
Použité stroje/nástroje:									
Teploměr: Omega HH22, S. No.: T263285									
Multimetr: Omega HHM599, S. No.: 04000062									
Svařovací zdroj: Fronius TPS 5000 S/N: 22090911, Polohovadlo A&N Plant									
Tepelné zpracování:									
Při svařování:					Po svařování				
Teplota předehřevu:		80°C			Rychlost ohřevu:		50°C/h		
Teplota interpass:		max. 150°C			Čas/teplota výdrže:		560°C/4h		
Čas/teplota dohřevu:		-			Rychlost ochlazování:		50°C/h do 150°C/vzduch		

7 Návrh a ověření vlastností svarových spojů

Svarové spoje byly ověřovány pomocí nedestruktivních zkoušek (viz bod 7.1) a destruktivních zkoušek (viz bod 7.2). Všechny zkoušky byly vyhodnoceny podle platných norem a jsou uvedeny níže v tabulkách.

7.1 Nedestruktivní zkoušky

Byly provedeny tři nedestruktivní zkoušky. Vizuální kontrola, která byla provedena dle ČSN EN ISO 17637 s požadavkem na stupeň jakosti B dle ČSN EN ISO 5817. [23, 24]

Kapilární zkouška, která byla provedena dle ČSN EN ISO 3452-1 s požadavkem na stupeň přípustnosti 1 dle ČSN EN ISO 23277. [25, 26]

Zkouška ultrazvukem, která byla provedena dle ČSN EN ISO 17640 s požadavkem na stupeň přípustnosti 2 dle ČSN EN ISO 11666. Výsledky všech tří zkoušek jsou uvedeny pro variantu 1 v tabulce 9 a pro variantu 2 v tabulce 10. [27, 28]

7.1.1 Vyhodnocení nedestruktivních zkoušek- varianta 1

Výsledky nedestruktivních zkoušek pro variantu 1 jsou znázorněny v tabulce 16.

Tab. 16 - Vyhodnocení nedestruktivních zkoušek- varianta 1.

Typ zkoušky	Výsledek
Vizuální kontrola	Vyhovující
Kapilární zkouška	Vyhovující
Zkouška ultrazvukem	Vyhovující

7.1.2 Vyhodnocení nedestruktivních zkoušek- varianta 2

Výsledky nedestruktivních zkoušek pro variantu 2 jsou znázorněny v tabulce 17.

Tab. 17 - Vyhodnocení nedestruktivních zkoušek- varianta 2.

Typ zkoušky	Výsledek
Vizuální kontrola	Vyhovující
Kapilární zkouška	Vyhovující
Zkouška ultrazvukem	Vyhovující

7.2 Destruktivní zkoušky

Byly provedeny tři destruktivní zkoušky. Příčná zkouška tahem, která byla provedena dle ČSN EN ISO 6892-1 s požadavkem na minimální mez pevnosti $470 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ při teplotě 20°C dle ČSN EN ISO 15614-1. [29, 30]

Zkouška rázem v ohybu, která byla provedena dle ČSN ISO 148-1 s požadavkem na minimální nárazovou práci 42 J, který vychází z požadavku projektu zákazníka a z požadavku na minimální nárazovou práci základního materiálu, při teplotě -40°C dle ČSN EN ISO 15614-1. [28, 31]

Zkouška tvrdosti, která byla provedena dle ČSN EN ISO 9015-1 s požadavkem na maximální tvrdost 380 HV10 pro materiál S355J2C+N a maximální tvrdost 450 HV10 pro materiál X4CrNiMo16-5-1 dle ČSN EN ISO 15614-1. Směr měření ZM – TOO – SK – TOO – ZM. [29, 32]

7.2.1 Vyhodnocení destruktivních zkoušek- varianta 1

Vyhodnocení příčné zkoušky tahem

Pro hodnocení mechanických vlastností svarového spoje byly provedeny dvě zkoušky tahem na dvou vzorcích, jejichž výsledky jsou znázorněny v tabulce 18.

Tab. 18 - Vyhodnocení příčné zkoušky tahem- varianta 1.

Vzorek:	Teplota [°C]	R _m [N·mm ⁻²]	R _{p0,2} [N·mm ⁻²]	A [%]	Z [%]	Místo porušení
Požadavek:	20	min. 470	-	-	-	S355J2C+N
1/T1	20	561	344	23,8	70,8	Mimo svar/S355J2C+N
1/T1	20	563	354	22,6	70,8	Mimo svar/S355J2C+N
Výsledek:	Vyhovující					

U obou vzorků byla mez pevnosti vyšší, než je požadované minimum. Nejnižší naměřená hodnota smluvní meze kluzu je 344 MPa, nejnižší naměřená hodnota tažnosti je 22,6 % a kontrakce je 70,8. Místo porušení je u obou vzorků mimo svar v materiálu S355J2C+N. Na základě vyhodnocení výsledků je zkouška vyhovující.

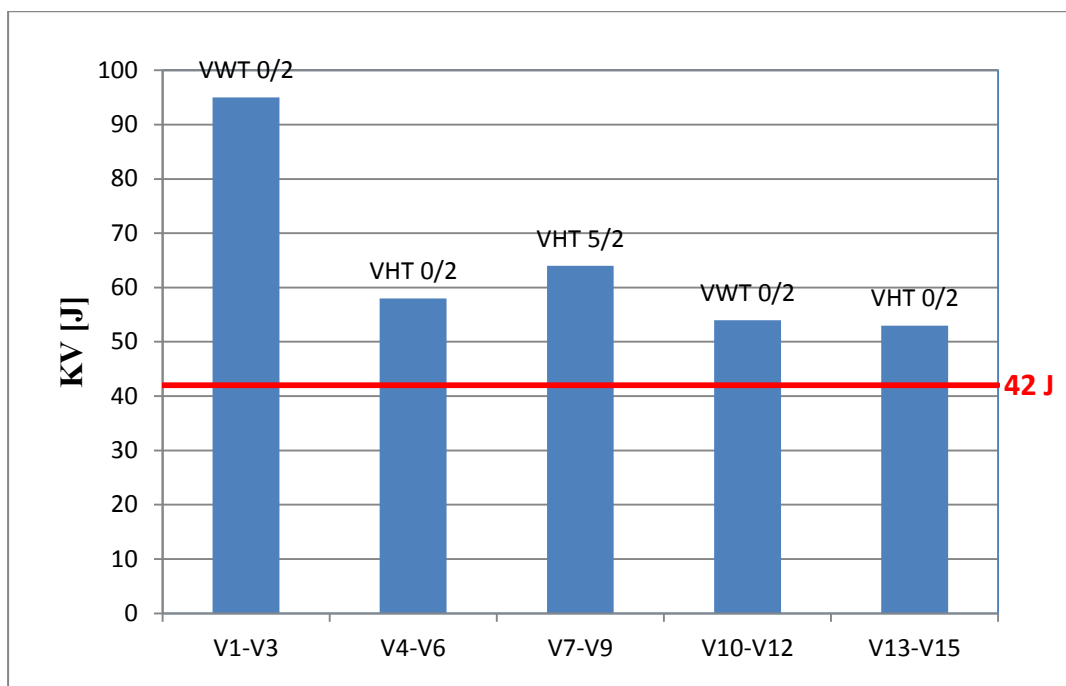
Vyhodnocení zkoušky rázem v ohybu

Pro hodnocení nárazové práce svarového kovu a TOO obou základních materiálů bylo provedeno pět sad měření, pro každé měření byly použity 3 vzorky. Výsledky jsou znázorněny v tabulce 19.

Tab. 19 - Vyhodnocení zkoušky rázem v ohybu- varianta 1.

Vzorek:	Umístění vrubu	Teplota [°C]	Jednotlivé hodnoty [J]			Průměr [J]	Poznámky
Požadavek:	-	-40	-	-	-	min. 42	-
1/V1-V3	VWT 0/2	-40	79	94	113	95	KV ₂
1/V4-V6	VHT 0/2	-40	104	44	27	58	S355J2C+N, KV ₂
1/V7-V9	VHT 5/2	-40	33	78	81	64	S355J2C+N, KV ₂
1/V10-V12	VHT 0/2	-40	55	53	53	54	X4CrNiMo16-5-1, KV ₂
1/V13-V15	VHT 5/2	-40	53	54	51	53	X4CrNiMo16-5-1, KV ₂
Výsledek:	Vyhovující						

U všech měření jsou průměrné hodnoty nárazové práce vyšší, než je požadované minimum. Nejvyšší výsledná hodnota nárazové práce je 95 J u vzorku 1-3 ve svarovém kovu 2 mm pod povrchem zkoušeného materiálu. Nejnižší hodnota je 53 J u vzorku 13-15 v TOO se středem vrubu vzdáleným 5 mm od referenční linie, 2 mm pod povrchem zkoušeného materiálu. Pro lepší orientaci jsou výsledné hodnoty znázorněné v grafu na obrázku 10. Na základě vyhodnocení výsledků je zkouška vyhovující.



Obr. 10 - Grafické zobrazení výsledků zkoušky rázem v ohybu- varianta 1.

Vyhodnocení zkoušky tvrdosti

Pro hodnocení tvrdosti svarového kovu a TOO obou základních materiálů byly provedeny tři sady měření, jejichž výsledky jsou znázorněny v tabulce 20.

Tab. 20 - Vyhodnocení zkoušky tvrdosti- varianta 1.

Vzorek:	max. ZM	max. TOO	max. SK	max. TOO	max. ZM
Požadavek:	max. 380 HV10 (S355J2C+N) / max. 450 HV10 (X4CrNiMo16-5-1)				
1 /M1-1	346	409	192	357	174
1 /M1-2	354	409	246	343	202
1 /M1-3	337	404	186	374	174
Výsledek:	Vyhovující				

U všech měření vyšly hodnoty menší, než je požadované maximum. Na základě vyhodnocení výsledků je zkouška vyhovující.

7.2.2 Vyhodnocení destruktivních zkoušek- varianta 2

Vyhodnocení příčné zkoušky tahem

Pro hodnocení mechanických vlastností svarového spoje byly provedeny dvě zkoušky tahem na dvou vzorcích, jejichž výsledky jsou znázorněny v tabulce 21.

Tab. 21 - Vyhodnocení příčné zkoušky tahem- varianta 2.

Vzorek:	Teplota [°C]	R _m [N·mm ⁻²]	R _{p0,2} [N·mm ⁻²]	A [%]	Z [%]	Místo porušení
Požadavek:	+20	min. 470	-	-	-	S355J2C+N
2 /T1	+20	558	373	20,2	74,0	Mimo svar/S355J2C+N
2 /T1	+20	560	376	20,8	74,0	Mimo svar/S355J2C+N
Výsledek:	Vyhovující					

U obou vzorků byla mez pevnosti vyšší, než je požadované minimum. Nejnižší naměřená hodnota smluvní meze kluzu je 373 MPa, nejnižší naměřená hodnota tažnosti je 20,2 % a kontrakce je 74 %. Místo porušení je u obou vzorků mimo svar v materiálu S355J2C+N. Na základě vyhodnocení výsledků je zkouška vyhovující.

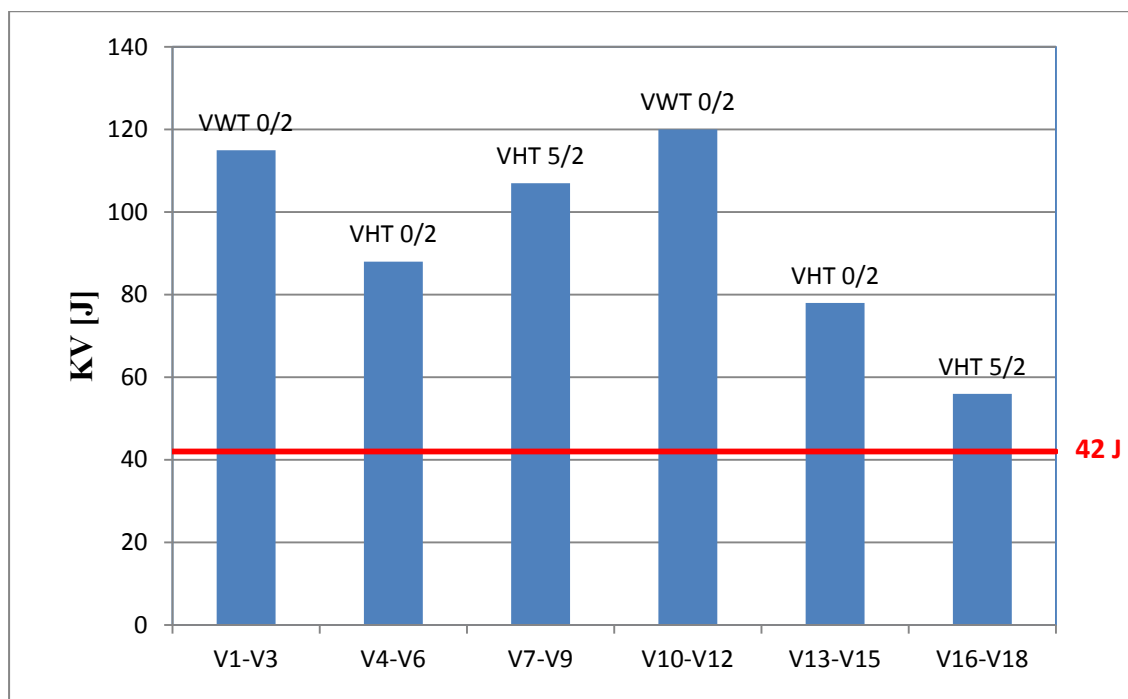
Vyhodnocení zkoušky rázem v ohybu

Pro hodnocení nárazové práce svarového kovu a TOO obou základních materiálů bylo provedeno pět sad měření, pro každé měření byly použity 3 vzorky. Výsledky jsou znázorněny v tabulce 22.

Tab. 22 - Vyhodnocení zkoušky rázem v ohybu- varianta 2.

Vzorek:	Umístění vrubu	Teplota [°C]	Jednotlivé hodnoty [J]			Průměr [J]	Poznámky
Požadavek:	-	-40	-	-	-	min. 42	-
2/V1-V3	VWT 0/2	-40	112	125	109	115	KV ₂
2/V4-V6	VHT 0/2	-40	51	140	77	88	S355J2C+N, KV ₂
2/V7-V9	VHT 5/2	-40	129	114	77	107	S355J2C+N, KV ₂
2/V10-V12	VWT 0/2	-40	123	121	115	120	Návar, KV ₂
2/V13-V15	VHT 0/2	-40	77	83	74	78	X4CrNiMo16-5-1, KV ₂
2/V16-V18	VHT 5/2	-40	59	54	55	56	X4CrNiMo16-5-1, KV ₃
Výsledek:	Vyhovující						

U všech měření jsou průměrné hodnoty nárazové práce vyšší, než je požadované minimum. Nejvyšší výsledná hodnota nárazové práce je 120 J u vzorku 10-12 ve svarovém kovu 2 mm pod povrchem zkoušeného materiálu. Nejnižší hodnota je 56 J u vzorku 16-18 v TOO se středem vrubu vzdáleným 5 mm od referenční linie, 2 mm pod povrchem zkoušeného materiálu. Pro lepší orientaci jsou výsledné hodnoty znázorněné v grafu na obrázku 11. Na základě vyhodnocení výsledků je zkouška vyhovující.



Obr. 11 - Grafické zobrazení výsledků zkoušky rázem v ohybu- varianta 2.

Vyhodnocení zkoušky tvrdosti

Pro hodnocení tvrdosti svarového kovu a TOO obou základních materiálů byly provedeny tři sady měření, jejichž výsledky jsou znázorněny v tabulce 20.

Tab. 23 - Vyhodnocení zkoušky tvrdosti- varianta 2.

Vzorek:	max. ZM	max. TOO	max. SK	max. TOO	max. ZM
Požadavek:	max. 380 HV10 (S355J2C+N) / max. 450 HV10 (X4CrNiMo16-5-1)				
2/M1-1	298	347	195	281	157
2/M1-2	330	323	218	240	175
2/M1-3	307	338	209	356	181
Výsledek:	Vyhovující				

U všech měření vyšly hodnoty menší, než je požadované maximum. Na základě vyhodnocení výsledků je zkouška vyhovující.

8 Závěr

V teoretické části je popsána problematika svařitelnosti uhlíkových a martenzitických korozivzdorných ocelí. Dále pak stručná charakteristika metody svařování 135, včetně principu a přídavných materiálů. Jako další je rozbor svařování různorodých materiálů, neboli svařování heterogenních spojů, včetně přídavných materiálů používaných pro tyto typy spojů.

Stěžejní část této bakalářské práce je návrh technologie svařování ozubeného kola, včetně vypracování technologických postupů a ověření svarových spojů. Vhodná technologie byla vybírána ze dvou variant. Prvním úkolem byla volba vhodného základního materiálu, a to uhlíková ocel S355J2C+N a martenzitická korozivzdorná ocel X4CrNiMo16-5-1. Na základě vlastností a chemického složení základního materiálu byla zvolena metoda 135 (MAG) a přídavný materiál, svařovací drát pro heterogenní spoje OK Autrod 309LSi a ochranný plyn Inoxline C2. Dále pak byl uveden výpočet náchylnosti oceli na teplé a studené trhliny.

Dalším bodem je stanovení technologického postupu. Jednotlivé části ozubeného kola jsou disk, náboj a věnec, viz výkres BIE_SVARENEC_S02 v příloze D. Disk a věnec byl vyroben za pomoci řezacího stroje kyslík-acetylén a náboj na soustruhu. Sražení hran na disku bylo zhotoveno na karuselu. Dále pak byly stanoveny parametry pro svařování a záznam z průběhu svařování pro obě varianty.

Důležitou částí je návrh a ověření vlastností svarových spojů, ve které byly provedeny nedestruktivní a destruktivní zkoušky. Navržené nedestruktivní zkoušky jsou, vizuální kontrola, zkouška kapilární a zkouška ultrazvukem. Všechny tři nedestruktivní zkoušky byly provedeny dle platných norem pro zkoušení svarových spojů a vyhodnoceny jako vyhovující. Navržené destruktivní zkoušky jsou, příčná zkouška tahem, zkouška rázem v ohybu a zkouška tvrdosti. Destruktivní zkoušky byly provedeny dle platných norem pro zkoušení svarových spojů a vyhodnoceny jako vyhovující. Naměřené hodnoty všech zkoušek jsou zpracované do tabulek, popř. grafů.

Poslední částí je zvolení vhodné varianty. Na základě informací ze všech zkoušek je patrné, že obě zvolené varianty vyhovují potřebným požadavkům. Jako další kritérium pro zvolení vhodné varianty je použití samotného ozubeného kola v lodním průmyslu, kde je třeba dbát ohled, kromě bezpečnosti, taky na kvalitu a životnost svarů. Z důvodů lepších

vlastností svarového spoje byla zvolena pro výrobu variantu 2. Jedná se o variantu s provedeným návarem na náboji, který byl tepelně zpracován za účelem snížení zbytkových napětí po svařování a snížení tvrdosti v TOO.

9 Seznam použité literatury

- [1] ORSZÁGH, Peter a Viktor ORSZÁGH. *Zváranie MIG/MAG ocelí a neželezných kovov*. 1. Vyd. Bratislava: Polygrafia SAV, 2000, 460 s. ISBN 80-887-8036-5.
- [2] FOLDYNA, Václav. *Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. Vyd. Ostrava: ZEROSS, 1999, 296 s. Svařování. ISBN 80-857-7163-2.
- [3] KUČERA, Jan. *Teorie svařování*. 1. Vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1987, viz, 402 s.
- [4] KOLAŘÍK, Ladislav. Hodnocení svařitelnosti. In: [online]. [cit. 2014-12-06]. Dostupné z WWW: < <http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TMSV/Svaritelnost.pdf> >.
- [5] HRIVŇÁK, Ivan. *Teória zvariteľnosti kovov a zliatin*. Bratislava: Veda, 1989, 343 s.
- [6] ITALINOX. *Italinox, s.r.o.* [online]. Praha: Italinox Praha, © 2015 [cit. 2015-05-14]. Dostupné z WWW: < <http://www.italinox.cz/?p1=plechy&p2=p6&p3=p1> >.
- [7] HLAVATÝ, Ivo. Svařování metodou MIG (131) a MAG (135). In: [online]. [cit. 2014-12-06]. Dostupné z WWW: < <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/07-08-131-135.pdf> >.
- [8] PRUDKÝ, Jan. *Teorie a metodika svařování*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické, 1981, 143 s.
- [9] MAXON. Svářečí technika Schinkmann s.r.o. In: [online]. 1991-2014 [cit. 2014-12-06]. Dostupné z WWW: < <http://www.schinkmann.cz/files/image/Linde%20plyn%20-%20MAG.JPG> >.
- [10] MINAŘÍK, Václav. *Přehled metod svařování*. 3., aktualiz. Vyd. Ostrava: ZEROSS, c2011, 82 s. Svařování. ISBN 978-80-86698-18-2.
- [11] ČSN EN ISO 14341. *Svařovací materiály – Drátové elektrody pro obloukové svařování nelegovaných a jemnozrnných ocelí v ochranném plynu a jejich svarové kovy – Klasifikace*. Praha, 2011.
- [12] TWI. Welding-of-austenitic-stainless-steel-103. *TWI Ltd* [online]. UK: TWI, © 2015 [cit. 2015-05-14]. Dostupné z WWW: < <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/welding-of-austenitic-stainless-steel-103/> >.

- [13] ČSN EN 10027-1. *Systémy označování ocelí – Část 1: Stavba značek ocelí*. Praha, 2006.
- [14] SALZGITTER FLACHSTAHL. Non_alloy_structural_steels_S355J2C_N.pdf. *Salzgitter group*. In: [online]. 2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z WWW: <
http://www.salzgitter-flachstahl.de/fileadmin/mediadb/szfg/informationmaterial/produktinformationen/warmgewalzte_produkte/eng/Non_alloy_structural_steels_S355J2C_N.pdf>.
- [15] BOLZANO. X4CrNiMo16-5-1(1.4418)martenzitické. *Bohdan Bolzano, s.r.o.* [online]. Kladno: Bolzano, © 2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z WWW: <
<http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x4crnimo16-5-1-martenziticke>>.
- [16] ČSN EN ISO 14343. *Svařovací materiály – Drátové elektrody, páskové elektrody, dráty a tyče pro obloukové svařování korozivzdorných a žáruvzdorných ocelí – Klasifikace*. Praha, 2010.
- [17] OKWELD. OK_AUTROD_309Lsi.pdf. *OK Weld, s.r.o.* [online]. Brno: Okweld, © 2008-2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z WWW: <
http://www.okweld.cz/PDF/draty-mig-mag/vysokolegovane-nerezavejicic/OK_AUTROD_309LSi.pdf>.
- [18] ČSN EN ISO 14175. *Svařovací materiály – Plyny a jejich směsi pro tavné svařování a příbuzné procesy*. Praha, 2009.
- [19] MESSER. Svarovani_v_ochrannych_atmosferach.pdf. *Messer Group* [online]. Praha 4: Messer, © 2015 [cit. 2015-05-03]. Dostupné z WWW: <
http://www.messergroup.com/cz/Prospekty/Svarovani_a_deleni_materialu/Svarovani_v_ochrannych_atmosferach.pdf>.
- [20] KOUKAL, Jaroslav, Drahomír SCHWARZ a Jiří HAJDÍK. *Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy mezinárodních svářečských inženýrů, technologů a pro výuku svařování na vysokých školách*. 1. Vyd. Ostrava: Český svářečský ústav, 2009, 240 s. ISBN 978-80-248-2025-5.
- [21] ČSN EN ISO 15609-1. *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Stanovení postupu svařování – Část 1: Obloukové svařování*. Praha, 2005.

- [22] ČSN EN ISO 6947. *Svařování a příbuzné procesy – Polohy svařování*. Praha, 2011.
- [23] ČSN EN ISO 17637. *Nedestruktivní zkoušení svarů – Vizuální kontrola tavných svarů*. Praha, 2011.
- [24] ČSN EN ISO 5817. *Svařování – Svarové spoje oceli, niklu, titanu a jejich slitin zhotovené tavným svařováním (kromě elektronového a laserového svařování) – Určování stupňů kvality*. Praha, 2014.
- [25] ČSN EN ISO 3452-1. *Nedestruktivní zkoušení – Kapilární zkouška – Část 1: Obecné zásady*. Praha, 2015.
- [26] ČSN EN ISO 23277. *Nedestruktivní zkoušení svarů – Zkoušení svarů kapilární metodou – Stupně přípustnosti*. Praha, 2010.
- [27] ČSN EN ISO 11666. *Nedestruktivní zkoušení svarů – Zkoušení ultrazvukem – Stupně přípustnosti*. Praha, 2011.
- [28] ČSN EN ISO 17640. *Nedestruktivní zkoušení svarů – Zkoušení ultrazvukem – Techniky, třídy zkoušení a hodnocení*. Praha, 2011.
- [29] ČSN EN ISO 15614-1. *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Zkouška postupu svařování – Část 1: Obloukové a plamenové svařování ocelí a obloukové svařování niklu a slitin niklu*. Praha, 2005.
- [30] ČSN EN ISO 6892-1. *Kovové materiály – Zkoušení tahem – Část 1: Zkušební metoda za pokojové teploty*. Praha, 2010.
- [31] ČSN ISO 148-1. *Kovové materiály – Zkouška rázem v ohybu metodou Charpy – Část 1: Zkušební metoda*. Praha, 2010.
- [32] ČSN EN ISO 9015-1. *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Zkoušení tvrdosti – Část 1: Zkouška tvrdosti spojů svařovaných obloukovým svařováním*. Praha, 2011.

10 Seznam příloh

- Příloha A - Chemické složení přídavných materiálů (hm. %) pro svařování různorodých materiálů. [18] (2 listy)
- Příloha B -Výkres sestavení svařence-detail. BIE_SVARENEC_S01.
- Příloha C -Kusovník. BIE_KUSOVNÍK_S01.
- Příloha D -Výkres sestavení svařence. BIE_SVARENEC_S02.

11 Seznam obrázků

Obr. 1 - Faktory ovlivňující svařitelnost. [4]	10
Obr. 2 - Závislost obsahu uhlíku na tvrdosti oceli způsobené přítomností martenzitu. [2] ..	11
Obr. 3 - Ukázka svařování metodou 135. [9]	15
Obr. 4 - Princip obloukového svařování tavící se elektrodou.[10]	15
Obr. 5 - Děje, které probíhají v elektrickém oblouku CO2-135. [8]	17
Obr. 6 - Schaefflerův diagram (A-austenit; M-martenzit; F-ferit). [12]	19
Obr. 7 - Umístění svaru.	21
Obr. 8 - Příprava svarové plochy- varianta 1.	22
Obr. 9 - Příprava svarové plochy- varianta 2.	22
Obr. 10 - Grafické zobrazení výsledků zkoušky rázem v ohybu- varianta 1.....	33
Obr. 11 - Grafické zobrazení výsledků zkoušky rázem v ohybu- varianta 2.....	35

12 Seznam tabulek

<i>Tab. 1 - Teplota přehřevu v závislosti na obsahu uhlíku. [2]</i>	12
<i>Tab. 2 - Mechanické vlastnosti materiálu S355J2C+N. [14]</i>	20
<i>Tab. 3 - Chemické složení materiálu S355J2C+N. [14]</i>	20
<i>Tab. 4 - Mechanické vlastnosti materiálu X4CrNiMo16-5-1. [15]</i>	21
<i>Tab. 5 - Chemické složení materiálu X4CrNiMo16-5-1. [15]</i>	21
<i>Tab. 6 - Mechanické vlastnosti drátu OK Autrod 309LSi. [17]</i>	23
<i>Tab. 7 - Chemické složení drátu OK Autrod 309LSi. [17]</i>	23
<i>Tab. 8 - Chemické složení plynu Inoxline C2. [19]</i>	23
<i>Tab. 9 - Identifikace parametrů svařování- varianta 1.</i>	25
<i>Tab. 10 - Identifikace parametrů svařování- varianta 1 (pokračování).</i>	26
<i>Tab. 11 - Záznam svařování- varianta 1</i>	26
<i>Tab. 12 - Záznam svařování- varianta 1 (pokračování).</i>	27
<i>Tab. 13 - Identifikace parametrů svařování- varianta 2.</i>	28
<i>Tab. 14 - Záznam svařování- varianta 2</i>	29
<i>Tab. 15 - Záznam svařování- varianta 2 (pokračování).</i>	30
<i>Tab. 16 - Vyhodnocení nedestruktivních zkoušek- varianta 1.</i>	31
<i>Tab. 17 - Vyhodnocení nedestruktivních zkoušek- varianta 2.</i>	31
<i>Tab. 18 - Vyhodnocení příčné zkoušky tahem- varianta 1.</i>	32
<i>Tab. 19 - Vyhodnocení zkoušky rázem v ohybu- varianta 1.</i>	32
<i>Tab. 20 - Vyhodnocení zkoušky tvrdosti- varianta 1.</i>	33
<i>Tab. 21 - Vyhodnocení příčné zkoušky tahem- varianta 2.</i>	34
<i>Tab. 22 - Vyhodnocení zkoušky rázem v ohybu- varianta 2.</i>	34
<i>Tab. 23 - Vyhodnocení zkoušky tvrdosti- varianta 2.</i>	35

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Martinu Sondelovi, Ph.D. za poskytnuté konzultace a odborné rady, cenné připomínky a za trpělivost během řešení mého úkolu.

Příloha A

List 1/2

Chemické složení přídavných materiálů (hm. %) pro svařování různorodých materiálů. [18]

Svařovaný materiál	Pracovní teplota	Šedá litina (opravy)	Opravy a renovace	Niklové slitiny	Austenitické nerezavějící oceli	13% Cr nerezavějící oceli	Nízkolegované žárupevné oceli	Nízkolegované oceli vyšších pevností	Nízkouhlíkové oceli
Nízkouhlíkové oceli	max. 350°C	E NiFe10Mn2	E 10- Cr19Ni9Mn6	E NiCr20 – Mo9Nb	E 08Cr18Ni10- Mo2Nb	E 10- Cr29Ni10	E 42 - 62	E 42 - 62	E 42 - 62
Nízkolegované oceli vyšších pevností	max. 350°C	E NiFe10Mn2	E 10- Cr19Ni9Mn6	E NiCr20 – Mo9Nb	E 08Cr18Ni10- Mo2Nb	E 10- Cr29Ni10	E 08 CrMoV (-14)	E 42 - 62	
Nízkolegované žárupevné oceli	max. 350°C	E NiFe10Mn2	E 10- Cr19Ni9Mn6	E NiCr20 – Mo9Nb	E 08Cr18Ni10- Mo2Nb	E 10- Cr29Ni10	E CrMoV (-14)		
13% Cr nerezavějící oceli	max. 350°C	E NiFe10Mn2	E 10- Cr29Ni10	E NiCr20 – Mo9Nb	E 10Cr29Ni10	E 10- Cr29Ni10			

Příloha A

List 2/2

Chemické složení přídavných materiálů (hm. %) pro svařování různorodých materiálů (pokračování). [18]

[illegible]